

陈惠芳、康兰池、金星等,2018,利用福建爆破实验记录检验华南速度模型,中国地震,34(2),270~282.

# 利用福建爆破实验记录检验华南速度模型

陈惠芳<sup>1)</sup> 康兰池<sup>2)</sup> 金星<sup>1,2)</sup> 林彬华<sup>1,2)</sup> 郭阳<sup>1)</sup>

1)福建省地震局,福州市华鸿路7号 350003

2)福州大学,福州 350108

**摘要** 基于2010~2012年“福建及台湾海峡地壳深部结构陆海联合探测”项目中18次爆破实验的准确发震时间、发震位置所确定的多震相走时数据,进行爆破震相特征分析,采用华南速度模型对单纯型、Hyposat、Hypo2000及Locsat等4种定位方法进行比较,得出最优定位方法。利用14炮爆破记录反演得到的速度模型与华南速度模型作比较,结果表明,反演模型的上地壳厚度小于华南模型的,下地壳厚度大于华南模型的,上地壳速度与华南模型的相当,下地壳速度大于华南模型的。利用本研究的反演结果对其他4次爆破进行重新定位,定位精度明显提高。

**关键词:** 人工爆破 震相 速度模型 定位程序 定位精度

[文章编号] 1001-4683(2018)02-0270-13 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

地震学是通过研究地震产生的地震波从而推断地球内部结构和地震发生的物理机制的科学(Shearer, 1999; Bondar, 2004)。它是人类了解无法直接到达的地球内部的一种重要方法和手段。由于天然地震的震源位置和发震时间无法控制,常常导致射线的几何分布不够理想,这给获得研究区域地下结构的良好反演解造成了相当的困难(张先康等, 1994)。利用人工震源激发生成地震波的反演方法,可以在研究区域建立相对较完备的观测系统,在很大程度上弥补了天然地震的这一不足。多年来,福建省地震局一直采用华南地区地壳速度模型对周边的地震事件和爆破进行定位分析,但是,一旦模型不合适或有较大偏差将会对日常地震编目工作造成重大影响,因此,很有必要对华南地壳速度模型进行检验。在通常的地震反演中,地震发震时刻、震源位置等信息无法准确得知,故缺乏对华南速度模型进行检验的必要条件。然而,福建地区的多次人工爆破实验为我们提供了一个良好契机(廖其林等, 1988),利用爆破实验准确的发震时间、发震位置可以获得不同震相的精确到时,进而对华南速度模型进行检验,同时,在此基础上提出华南速度模型的修正意见。

## 1 研究背景

在地震观测台站确定的情况下,影响地震定位精度的主要因素包括结构模型的误差和

[收稿日期] 2017-05-23; [修定日期] 2017-07-17

[项目类别] 福建省地震局科技攻关项目“利用测震台网爆破记录检验华南速度模型”(G201202)资助

[作者简介] 陈惠芳,女,1981年生,工程师,主要从事地震观测、地震预警、主动源探测等方面研究。

E-mail: huifangchenfj@163.com

观测走时等信息误差(陈棋福等,2001)。恰当的震源精定位方法可通过应用良好的速度模型提高定位结果的可信度,同样地,也可以运用不同的精定位方法,通过比较定位结果来判断速度模型的优劣(赵仲和,1983)。一维参考地震波速度模型是区域地震构造研究的重要基础(陈祥熊等,2005),三维成像反演的可靠性即有赖于一维模型的准确建立。另一方面,基于一维速度模型的计算相对于基于三维速度模型的计算,在精度允许的范围内具有低成本、高效率等优势。因此,一维速度结构的研究依然是当前地下速度结构研究的重点之一(孙安辉等,2011)。

福建测震台网在 2010 年共有 33 个区域台和 8 个水库台,平均台间距 56km,至 2011 年“十一·五”福建地震烈度速报台网建成后,又增加了 44 个地方台,现福建测震台网共由 85 个台组成了较为密集的地震台网,平均台间距为 31km 左右(图 1)。

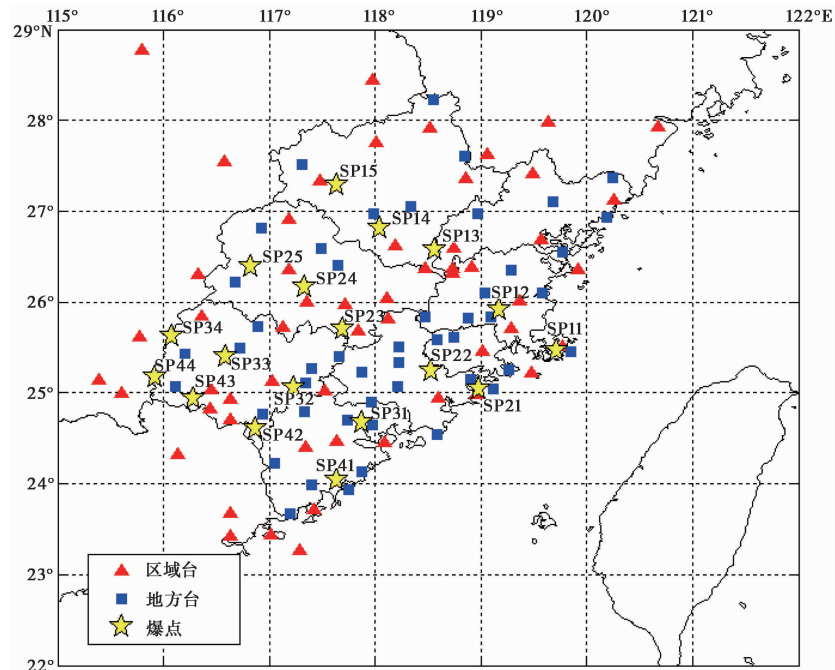


图 1 炮点与台网分布

2010~2012 年福建省地震局联合中国地震局物探中心在福建区域开展“福建及台湾海峡地壳深部构造探测实验”项目,项目成功实施了 18 次爆破实验,爆破的炮点位置基本覆盖福建省大部分地区(图 1)。这些爆破都有精确的时间、经纬度、用药量及地名等炮点参数(表 1),本文利用福建测震台网记录到的数字地震波形分别对这些爆破事件进行震中位置的确定,利用得到的结果与准确的爆破点位置进行对比,并对测震台网常用的 4 种定位方法进行定位精度判定,最后结合这些资料来检验福建华南速度模型。

福建测震台网记录到了 18 次爆破的完整波形,所有爆破均有多个台站记录,记录台站数为 22~101 个,最多的是 SP11 爆点,101 个台;最少的是 SP33 爆点,22 个台。其中,2010 年激发的 4 个炮点(SP31~SP34)只使用了 41 个台,记录台数较少。爆破激发波的最远传播 200~352km,其中,SP11 爆点 352km。爆破激发了清晰的直达纵波 Pg 震相、莫霍面反射波

表 1 18 次爆破炮点信息

炮点编号	爆破时刻 (年-月-日 T 时:分:秒)	炮点位置		药量 /kg	炮点地名
		北纬/(°)	东经/(°)		
SP11	2011-08-23T 01:00:16.382	25.4711	119.7144	1890	平潭县北厝
SP12	2011-08-23T 01:10:14.631	25.9196	119.1688	1764	闽侯县南屿镇九都村
SP13	2011-08-28T 01:00:16.746	26.5766	118.5622	2793	南平延平区巨口镇半岭村
SP14	2011-08-28T 01:10:14.641	26.8172	118.0391	2583	南平市延平区峡阳镇杜溪村
SP15	2011-08-28T 04:10:14.514	27.2877	117.6388	2982	邵武市吴家塘镇铁罗村
SP21	2012-07-18T 01:00:20.181	25.0417	118.9839	1995	惠安市净峰镇松村
SP22	2012-07-18T 01:10:16.253	25.2452	118.5279	2583	南安市乐峰镇印山林场
SP23	2012-07-23T 01:00:21.079	25.7110	117.6942	1995	三明市大田县上京镇东边坑村
SP24	2012-07-23T 01:10:17.263	26.1632	117.3357	2310	三明永安市大湖镇新洋村
SP25	2012-07-23T 01:20:15.423	26.3954	116.8243	2499	三明市宁化县湖村镇中坑村
SP31	2010-09-01T 01:00:13.111	24.6757	117.8688	1995	漳州市长泰陈巷镇林场
SP32	2010-09-01T 01:10:14.472	25.0636	117.2314	2449	龙岩市漳平市永福镇林场
SP33	2010-09-01T 01:10:14.752	25.3967	116.5825	1281	龙岩市连城县新泉镇新罗村
SP34	2010-09-01T 01:00:13.284	25.6215	116.0783	2982	龙岩市长汀县四都镇红寮村
SP41	2012-07-29T 01:00:15.499	24.0390	117.6419	2499	漳州市漳浦县霞美镇梅田村
SP42	2012-08-08T 01:00:20.776	24.6020	116.8733	2583	龙岩市永定县下洋镇多兴村
SP43	2012-07-29T 01:20:15.866	24.9327	116.2852	2982	龙岩市武平县岩前镇宁洋村
SP44	2012-07-29T 04:20:15.875	25.1793	115.9158	2982	龙岩市武平县东留乡兰畚村

PmP 震相和 SmS 震相,在震中距 120km 处出现了明显的来自莫霍界面的首波震相 Pn,近台还记录到短周期面波震相,由于直达横波 Sg 震相在爆破记录图上无法识别,所以本研究弃用(图 2)。

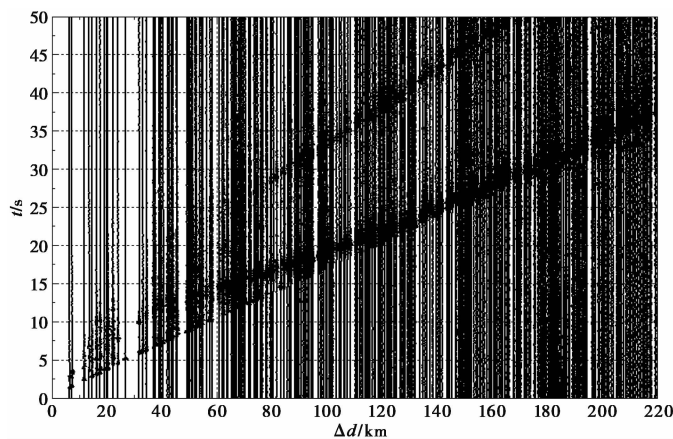


图 2 2010~2012 年 18 次爆破记录

## 2 研究方法

利用 18 次爆破记录作为研究资料,先进行爆破震相特征分析,一方面在华南模型基础上采用单纯型、Hyposat、Hypo2000 及 Locsat 等 4 种定位方法进行定位偏差比较,得出最优定位方法。另一方面应用 14 次爆破记录反演福建一维两层速度模型,将研究得到的模型结果与华南模型进行对比,再用剩余的 4 次爆破记录对本研究模型进行验证(图 3)。

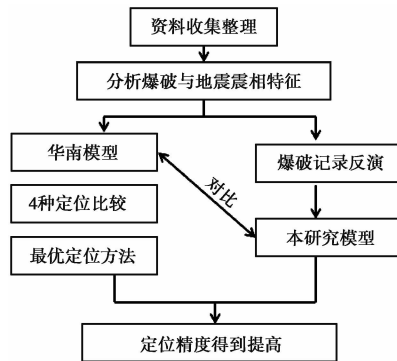


图 3 研究技术路线

### 2.1 震相对比分析

福建区域开展的“福建及台湾海峡地壳深部构造探测实验”项目,产出了丰富的爆破记录数据,这为福建地震台网系统地识别爆破与地震波形特征创造了良好条件。本文对爆破实验震相波形与地震震相波形进行分析对比,区分爆破与天然地震的震相特征,得出了适用于福建地区的爆破识别判据,旨在提高地震分析人员的准确判断。

地震与爆破一样都是瞬间发生的,发生时都能释放出巨大的能量。然而,在发生机制上地震与爆破是有差异的,主要为:①爆破与天然地震的震源机制不同:爆破源是对称膨胀源,天然地震源则是非对称剪切源。②震源深度不同:爆破多位于近地表附近,一般深度为 0~2km;而地震大多发生于地下 5~30km 处,有的更深达数百千米。

本文通过对 18 炮爆破记录的波形进行分析,得出爆破的特征如下:

(1)爆破是膨胀源激发 P 波,导致了爆破的 P 波较强,而 S 波的激发能力较弱。而且在同一距离上,有时爆破的 P 波振幅能达到甚至超过 S 波的振幅。地震是非对称剪切源,激发 P 波能力较弱,而激发 S 波能力较强,一般来说,地震的 P 波振幅要小于 S 波的振幅(图 4)。

(2)各向同性介质中,点源爆破的振幅与方位无关,且只有压缩初动,而地震的振幅和极性均会随方位变化(彼得·鲍曼,2006)。统计爆破和地震事件各台 P 波垂直向初动结果得出:爆破垂直向初动均向上;而地震垂直向初动有向上和向下,按象限分布(图 5)。

(3)由于爆破的深度较浅,能激发出较清晰的面波,而且由于浅层对高频成分的吸收,传播一段距离后,波形显示很干净,毛刺较少。而地震的震源较深,激发面波的能力较弱,且毛刺较多(图 6)。

(4)爆破在震中距 70~90km 或者 70~110km 处 PmP 波发育且其振幅较强并呈纺锥型,而地震在该震中距区间处 PmP 波发育且振幅较弱(图 7)。

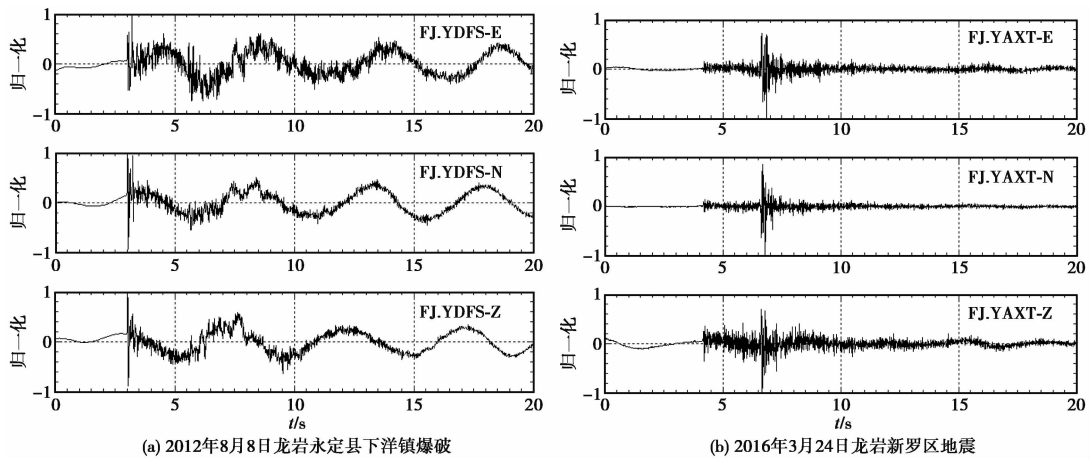


图4 爆破与地震P波、S波震相对比

右上角为台站代码

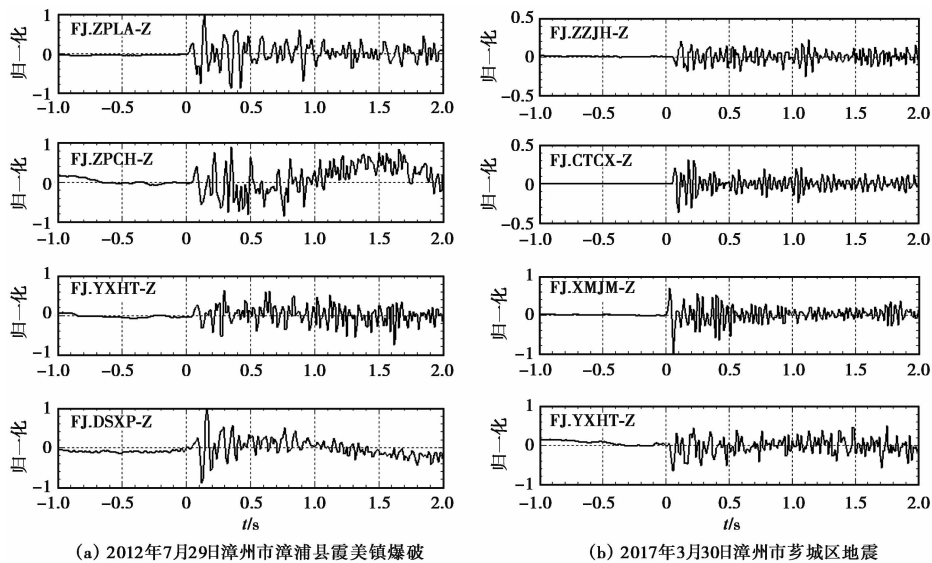


图5 爆破与地震垂直向P波震相初动方向对比

左上角为台站代码

### 2.2 4种定位方法的对比研究

“十五”中国数字化地震观测网络项目以来,福建地震台网将广东智源科技有限公司开发的人机交互软件MSDP(Multiple Seismic Data Processing System)用于日常地震速报和地震编目。MSDP软件自带有6种定位程序,分别是单纯型法、遗传算法、单台定位法、Hyposat、Hypo2000、Locsat等。福建台网日常工作使用的有单纯型法、Hyposat、Hypo2000及Locsat等4种,它们有各自的适用范围(表2)。这4种定位程序在使用中都配置了华南速度模型(范玉兰等,1988)。

本研究对18次爆破均用4种定位方法进行定位偏差对比分析(表3、图8)。由表3、



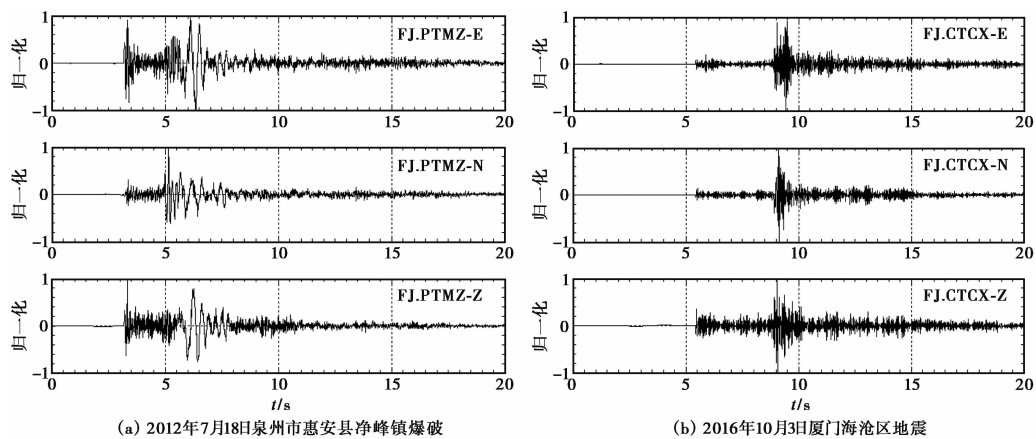


图 6 爆破与地震近台面波发育对比  
 右上角为台站代码

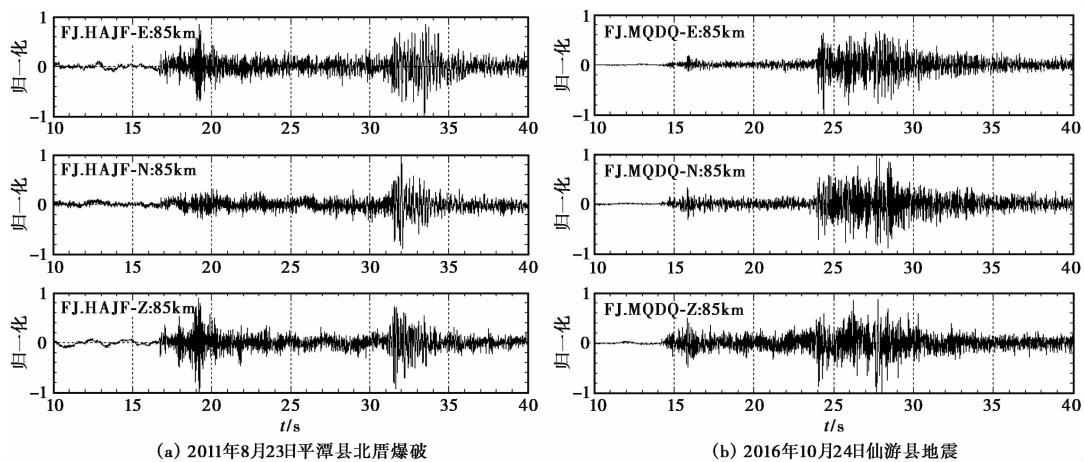


图 7 爆破与地震反射波发育对比  
 左上角为台站代码及震中距

图 8 可见,4 种方法中,单纯型法定位平均偏差 1.08,偏差中值 0.923,为最高,离散度小,故属于一般;Hyposat 方法平均偏差 0.81,为最小,偏差中值 0.831,离散度小,故属于较优;Hypo2000 方法最大偏差 5.50,为最大,离散度大,但是偏差中值 0.645,为最低,故属于一般;Locsat 定位方法平均偏差 1.44,为最大,离散度大,偏差中值 0.857,较大,故属于较差。

综合 4 种定位方法的统计分析可以看出,Locsat 定位方法偏差大,离散度大,定位效果较差,故不将其纳入提高定位精度的方法中。Hypo2000 虽然最大偏差大,离散度较大,但偏差

表 2 4 种定位方法的适用范围

序号	定位方法	适用范围			
		地方震	近震	远震	深震
1	单纯型法	✓	✓	✓	
2	Hyposat	✓	✓	✓	
3	Locsat	✓	✓	✓	✓
4	Hypo2000	✓	✓		

中值较小,在特定的情况下可以考虑使用。单纯型定位离散度小,较为稳定,可以考虑作为本文提高定位精度使用。Hyposat 定位偏差较小,离散度小,较为稳定,可以作为本文提高定位精度的首选方法。事实证明,在地震分析中,如果使用较为合适的定位方法来定位不同类型的地震,便可获得较为可靠的地震参数和震中位置,也能进一步提高地震分析的质量。

### 3 利用固定台观测资料反演福建一维速度模型

#### 3.1 基础资料

利用 MSDP 软件人工分析震相,共拾拾清晰 Pn 震相 181 个,震中距最大 348.7km,最小 136.4km;清晰 PmP 震相 118 个,震中距最大 137.5km,最小 56.1km(表 4)。本研究除利用 SP31、SP14、SP24、SP42 等 4 次爆破的 Pn、PmP 震相外,将其余 14 次爆破所有的 Pn、PmP 震相进行一维速度结构反演,这 4 次爆破用于反演结果的对比检验。用于一维速度结构反演 Pn 震相共计 181 个,PmP 震相共计 87 个。

#### 3.2 研究方法

以华南模型为基础,采用迭代搜索法,选取走时残差最小时对应的波速与厚度参数为最终结果。首先,假定地壳厚度与华南模型一致,分别为  $H_1 = 21.4\text{km}$ ,  $H_2 = 11\text{km}$ ,在此基础上利用正演的方法,分别确定各层波速。在得到波速后,重新利用正演方法确定  $H_1、H_2$ 。

双层模型 Pn 走时方程可写为

$$t = \frac{\Delta}{v_3} + (2H_1 - h) \sqrt{\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_3^2}} + 2H_2 \sqrt{\frac{1}{v_2^2} - \frac{1}{v_3^2}} \quad (1)$$

式中,  $v_1、v_2、v_3$  分别为第 1、2、3 层的波速; $\Delta$  为震中距; $h$  为震源深度。

双层模型 PmP 走时方程可写为

$$t = \frac{2H_1}{v_1 \sqrt{1 - v_1^2 c^2}} + \frac{2H_2}{v_2 \sqrt{1 - v_2^2 c^2}} \quad (2)$$

表 3 4 种方法 18 炮定位偏差

炮点 编号	震中偏差/km			
	单纯型	Hyposat	Hypo2000	Locsat
SP11	1.58	1.57	0.46	2.18
SP12	1.12	0.80	0.13	1.45
SP13	0.84	0.86	0.86	0.44
SP14	0.92	1.13	0.32	1.13
SP15	0.88	0.28	5.5	2.87
SP21	1.36	1.41	2.93	1.68
SP22	0.92	0.57	0.62	3.29
SP23	1.09	1.09	1.35	0.44
SP24	0.87	0.87	0.67	0.87
SP25	0.76	0.76	2.16	0.76
SP31	1.06	0.84	0.44	0.84
SP32	0.95	0.95	0.42	2.00
SP33	1.06	0.84	0.44	0.84
SP34	1.53	0.24	2.24	2.18
SP41	1.42	0.22	1.57	1.21
SP42	1.49	0.61	1.49	1.49
SP43	1.12	1.12	0.59	1.76
SP44	0.40	0.40	0.45	0.48
最小偏差	0.40	0.22	0.13	0.44
最大偏差	1.58	1.57	5.50	3.29
平均偏差	1.08	0.81	1.26	1.44
偏差中值	0.923	0.831	0.645	0.857

注:4 种定位方法的爆破均不考虑深度的影响

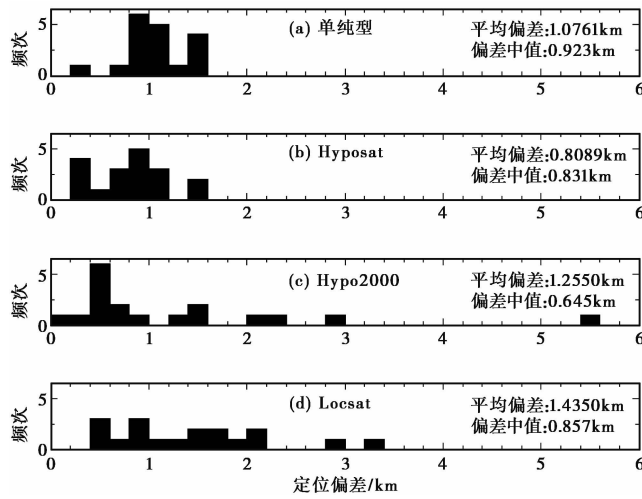


图 8 4 种定位方法定位震中偏差比较

$$\Delta = \frac{2cv_1H_1}{\sqrt{1-v_1^2c^2}} + \frac{2cv_2H_2}{\sqrt{1-v_2^2c^2}} \quad (3)$$

$$c = \frac{\sin i_1}{v_1} = \frac{\sin i_2}{v_2} \quad (4)$$

式中,  $c$  为射线参数。将  $H_1 = 21.4\text{km}$ 、 $H_2 = 11\text{km}$  及 Pn 震相走时、震中距代入式 (1), 拟合可得第 3 层的波速  $v_3 = 7.9119\text{km/s}$ , 残差  $\sigma = 0.29$ , 拟合结果见图 9, 在  $H_1 = 21.4\text{km}$ 、 $H_2 = 11\text{km}$  时, 可得到第 1 层速度  $v_1$  和第 2 层速度  $v_2$  间的关系 (图 10), 如第 1 层速度  $v_1 = 6.1\text{km/s}$ , 则第 2 层速度  $v_2 = 7.0\text{km/s}$ 。

将图 10 中得到的  $v_1$ 、 $v_2$  直接代入双层模型 PmP 走时方程 (式 (2)、(3)、(4)), 进一步寻找与震相走时差最小值所对应的  $v_1$ 、 $v_2$ 。拟定初值采用:  $H_1 = 21.4\text{km}$ 、 $H_2 = 11\text{km}$ , 经正演后得到:  $v_1 = 6.00\text{ km/s}$ 、 $v_2 = 6.97\text{km/s}$ , 其中, 最小残差:  $0.39\text{s}$ , 拟合结果见图 11、12。

将得到的  $v_1 = 6.00\text{km/s}$ 、 $v_2 = 6.97\text{km/s}$  直接带入式 (1), 即可获得第 1 层地壳厚度

$H_1$  与第 2 层地壳厚度  $H_2$  之间的关系 (图 13), 如取  $H_1 = 15\text{km}$ , 那么  $H_2 = 21.5\text{km}$  代入式 (2)、(3)、(4), 搜索与震相走时差最小值所对应的  $H_1$ 、 $H_2$ 。令  $v_1 = 6.00\text{km/s}$ 、 $v_2 = 6.97\text{km/s}$ , 进一步正演可得  $H_1 = 19.80\text{km}$ 、 $H_2 = 13.55\text{km}$ , 最小残差 =  $0.26\text{s}$ , 拟合结果见图 14、15。

表 4 各次爆破拾震相数

炮点编号	Pn 震相个数	PmP 震相个数	是否参加反演
SP31	0	8	否
SP32	3	8	是
SP33	15	0	是
SP34	15	6	是
SP11	34	0	是
SP12	10	7	是
SP13	5	6	是
SP14	0	13	否
SP15	12	4	是
SP21	24	7	是
SP22	36	12	是
SP23	0	7	是
SP24	0	4	否
SP25	13	13	是
SP41	0	4	是
SP42	0	6	否
SP43	0	6	是
SP44	14	7	是
合计	181	118	

注: 炮点均按激发年份排列



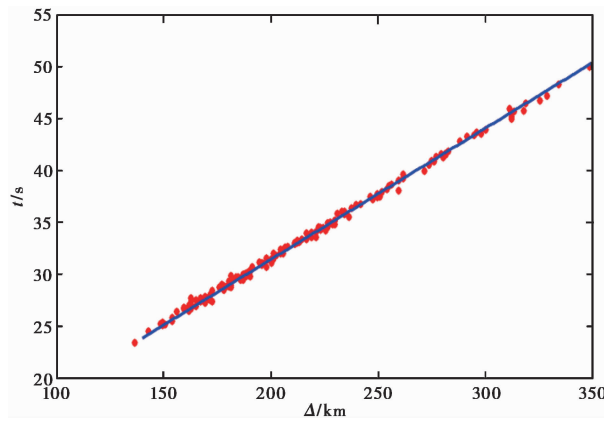


图9 莫霍面速度  $v_3$  的拟合结果

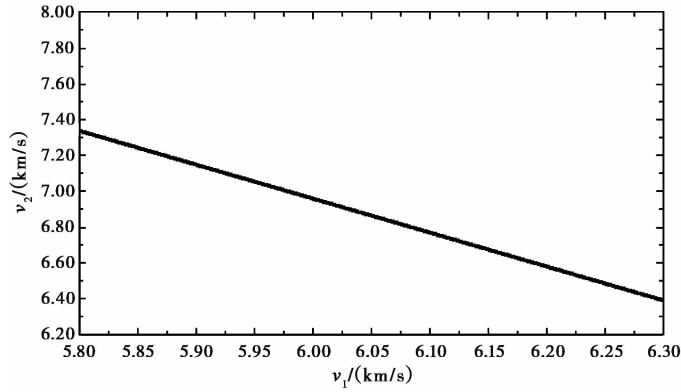


图10 震相走时差最小值对应的  $v_1$ 、 $v_2$  间关系

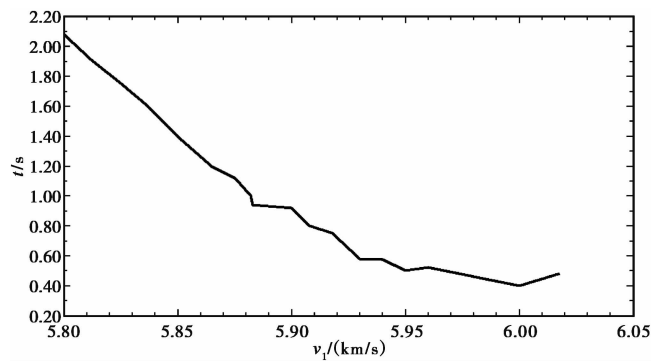


图11 第1层速度和震相走时差的拟合结果

### 3.3 研究结果

将本文研究结果进行汇总,并与华南模型进行对比(表5、图16)。由表5及图16可见,本研究结果上地壳厚度为19.8km,小于华南模型的21.4km,波速二者相当,下地壳厚度为13.55km,大于华南模型的11km,波速大于华南模型。

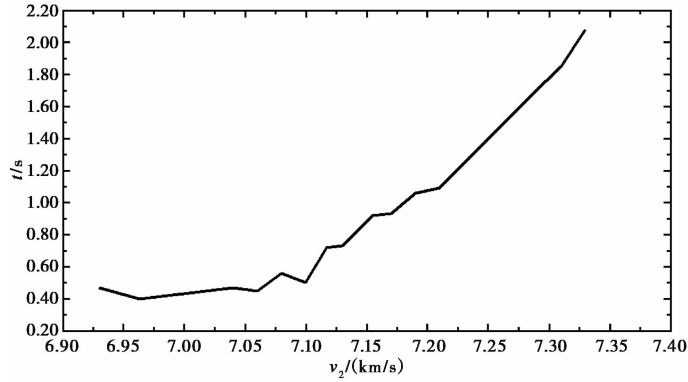


图 12 第 2 层速度和震相走时差的拟合结果

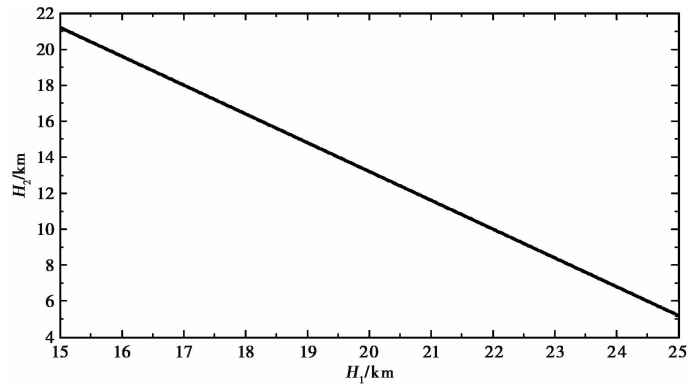


图 13 第 1、2 层地壳厚度间的关系

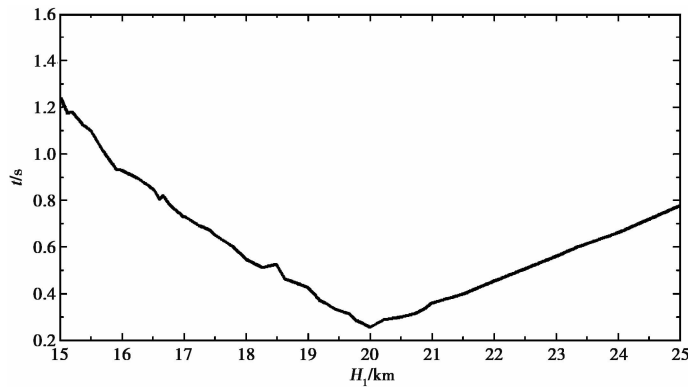


图 14 第 1 层地壳厚度与震相走时差的拟合结果

将本研究结果采用到 MSDP 人机交互系统处理模块下,利用 Hyposat 方法对 SP14、SP24、SP31、SP42 等 4 次爆破进行定位,得到的定位偏差结果列于表 6。由表 6 可见,采用本研究模型进行定位的结果比起华南模型偏差明显减少且 4 个爆破的偏差都小于 1.00km,二者的平均定位偏差基本都能减少 0.39km。

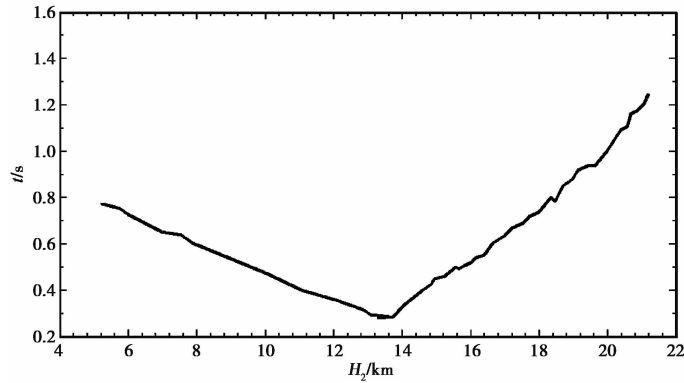


图 15 第 2 层地壳厚度与震相走时差的拟合结果

### 4 结论

本文利用 18 次爆破实验的记录作为研究资料,首先进行了爆破震相特征的分析;然后,利用爆破实验的准确时间、地点及台网观测到的地震波走时信息,反演出福建一维两层速度模型;最后,在此基础上,利用华南模型及 4 种定位方法来检验地震定位方法的精度,进一步改善区域一维速度模型,以达到提高区域地震台网定位精度的目的。本研究主要取得如下结论。

(1) 通过对爆破震相与地震震相波形的对比分析,得到爆破震相特征: P 波能量较强, S 波的能量较弱;地震

表 5 本文结果与华南模型对比

层位	本研究结果		华南模型	
	层厚度 /km	层速度 / (km/s)	层厚度 /km	层速度 / (km/s)
上地壳	19.80	6.00	21.40	6.01
下地壳	13.55	6.97	11.00	6.88
上地幔顶部	—	7.91	—	7.98

表 6 本研究模型与华南模型定位偏差比较 (km)

模型	SP14	SP24	SP31	SP42	平均
华南模型	1.13	0.87	0.84	0.61	0.86
本研究模型	0.73	0.54	0.31	0.32	0.47
二者之差	0.40	0.33	0.53	0.29	0.39

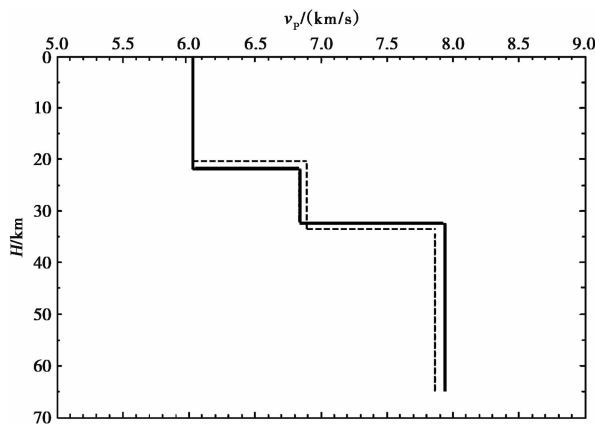


图 16 本研究模型与华南模型对比  
虚线为本研究模型;实线为华南模型

的初动按象限分布,爆破初动一般都向上且无象限分布;爆破面波较为发育。由此,得出较适用于识别本地区爆破的判据,以期有助于分析人员提高对地震类型的准确判断。

(2)利用单纯型、Hyposat、Hypo2000及Locsat等4种定位方法对18次爆破记录进行重新定位分析。结果表明,Hyposat定位平均偏差最小,离散程度最小,较为稳定;Locsat偏差最大,精度最低。因此,在地震的定位分析工作中,采用Hyposat定位方法对爆破记录进行定位,可获得较为可靠的地震参数和震中位置。

(3)利用14次爆破实验已获得的固定台网记录,反演福建一维速度模型,将该模型与华南模型进行对比得出:其上地壳厚度小于华南模型,下地壳厚度大于华南模型;上地壳速度与华南模型相当,下地壳速度大于华南模型。利用本研究反演结果对其他4次爆破进行重新定位,定位精度都明显提高。

### 参考文献

- 彼得·鲍曼,2006,新地震观测实践手册,462~470,北京:地震出版社。
- 陈棋福、张跃勤、周静等,2001,数字观测时代的全球三维结构与地震定位研究,地震,21(2),29~40。
- 陈祥熊、林树、李祖宁等,2005,福建-台湾地区一维地壳速度结构的初始模型,地震,25(2),61~68。
- 范玉兰、林纪曾、胡瑞贺等,1990,华南地区近震走时表的研制,华南地震,10(2),1~16。
- 廖其林、王振明、王屏路等,1988,福州-泉州-汕头地区地壳的爆炸地震研究,地球物理学报,31(3),270~280。
- 孙安辉、陈棋福、陈颢等,2011,天山东北部地震的重新定位和一维地壳速度模型的改善,中国地震,27(3),235~247。
- 张先康、杨玉春、赵平等,1994,唐山滦县震区的三维地震投射研究——中、上地壳速度层析成像,地球物理学报,37(6),759~766。
- 赵仲和,1983,多重模型地震定位程序及其在北京台网的应用,地震学报,5(2),242~254。
- Shearer,1999,Introduction to seismology,Cambridge:Cambridge University Press.
- Bondár I,Myers S C,Engdahl E R,2004,Epicentre accuracy based on seismic network criteria,Geophys J Int,156(3),483~496。

## Inspection of the Southern China Velocity Model by the Explosion Test Record

*Chen Huifang*<sup>1)</sup> *Kang Lanchi*<sup>1)</sup> *Jin Xing*<sup>1,2)</sup> *Lin Binhua*<sup>1,2)</sup> *Guo Yang*<sup>1)</sup>

1) Fuzhou University, Fuzhou 350108, China

2) Fujian Earthquake Agency, Fuzhou 350003, China

**Abstract** In this paper, 18 explosion tests from 2010 to 2012 of the project of Fujian and the Taiwan Strait Deep Crustal Structure Sea Joint Exploration are used to obtain explosion times and explosion locations so as to determine multiple phase travel time. First we analyze the characteristics of blasting vibration, make a comparison of four location methods of Simple, Hyposat, Hypo2000 and Locsatin for the Southern China model to get the optimal location method. We use the model obtained from the blasting records of 14 inversion results and compare with the Southern China model. The results show that the upper crust thickness is smaller than that of the Southern China model, and the lower crust thickness is greater than that of the Southern China model. The velocity of the upper crust is equal to that of the Southern China model and the velocity of the lower crust is faster than that of the Southern China model. The remaining four blasting records are applied to locate in this inversion model. It is concluded that the location accuracy has improved significantly.

**Key words:** Artificial explosion; Seismic phase; Velocity model; Location program; Location accuracy